

15This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

## Broad spectrum ultraviolet catadioptric imaging system

**Patent number:** DE19731291

**Publication date:** 1998-01-29

**Inventor:** CHUANG YUNG-HO (US); SHAFER DAVID R (US); TSAI BIN-MING B (US)

**Applicant:** KLA INSTR CORP (US)

**Classification:**

- **international:** G02B17/08; G02B13/14; G03F7/20; G01N21/00

- **european:** G03F1/00Z; G03F7/20T16; G03F7/20T22; G02B17/08

**Application number:** DE19971031291 19970721

**Priority number(s):** US19960681528 19960722

**Also published as**

US571751

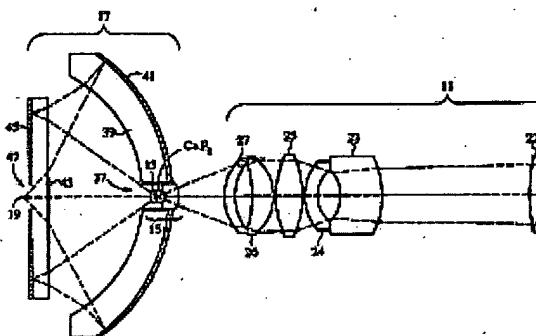
JP101771

GB231556

Abstract not available for DE19731291

Abstract of correspondent: **US5717518**

An ultraviolet (UV) catadioptric imaging system, with broad spectrum correction of primary and residual, longitudinal and lateral, chromatic aberrations for wavelengths extending into the deep UV (as short as about 0.16  $\mu$ m), comprises a focusing lens group with multiple lens elements that provide high levels of correction of both image aberrations and chromatic variation of aberrations over a selected wavelength band, a field lens group formed from lens elements with at least two different refractive materials, such as silica and a fluoride glass, and a catadioptric group including a concave reflective surface providing most of the focusing power of the system and a thick lens providing primary color correction in combination with the focusing lens group. The field lens group is located near the intermediate image provided by the focusing lens group and functions to correct the residual chromatic aberrations. The system is characterized by a high numerical aperture (typ. greater than 0.7) and a large flat field (with a size on the order of 0.5 mm). The broad band color correction allows a wide range of possible UV imaging applications at multiple wavelengths.





⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑯ Patentschrift  
⑯ DE 197 31 291 C 2

⑯ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
G 02 B 17/08  
G 02 B 13/14

DE 197 31 291 C 2

⑯ Aktenzeichen: 197 31 291.8-51  
⑯ Anmeldetag: 21. 7. 1997  
⑯ Offenlegungstag: 29. 1. 1998  
⑯ Veröffentlichungstag der Patenterteilung: 6. 4. 2000

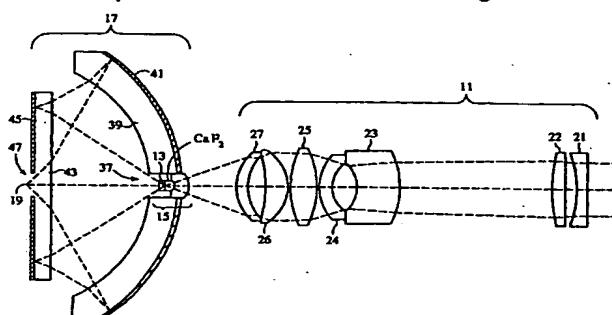
Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑯ Unionspriorität:  
681528 22. 07. 1996 US  
⑯ Patentinhaber:  
KLA Instruments Corp., San Jose, Calif., US  
⑯ Vertreter:  
Kahler, Käck & Fiener, 86899 Landsberg

⑯ Erfinder:  
Shafer, David R., Fairfield, Conn., US; Chuang, Yung-Ho, Cupertino, Calif., US; Tsai, Bin-Ming B., Saratoga, Calif., US  
⑯ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:  
DE-PS 8 45 415  
US 54 88 229  
US 50 31 976  
US 48 45 558  
US 46 18 938  
US 45 56 317  
US 42 47 203

⑯ Katadioptrisches Abbildungssystem für ein breites Ultraviolet-Spektrum und dessen Verwendung

⑯ Katadioptrisches Abbildungssystem für einen breiten Bereich im Ultraviolet, bei welchem der Farblängsfehler bis zur dritten Ordnung und der Farbvergrößerungsfehler erster Ordnung korrigiert sind, mit: einer Fokussierlinsengruppe (11) zur Erzeugung eines Zwischenbilds (13), einer Feldlinsengruppe (15) mit einer positiven Brechkraft, die im Strahlengang beim oder nahe dem Zwischenbild (13) angeordnet ist, und einer katadioptrischen Gruppe (17), dadurch gekennzeichnet, daß die Feldlinsengruppe (15) eine achromatische Linsengruppe ist und mehrere Linsen (31, 33, 35; 51, 53, 55) umfaßt, die aus mindestens zwei verschiedenen lichtbrechenden Materialien mit verschiedenen Dispersions gebildet sind.



DE 197 31 291 C 2

# DE 197 31 291 C 2

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein katadioptrisches Abbildungssystem für einen breiten UV-Wellenlängenbereich nach dem Oberbegriff des Anspruches 1 und dessen Verwendung. Ein derartiges Abbildungssystem ist aus der 5 US 5 031 976 bekannt.

Katadioptrische Abbildungssysteme für den Spektralbereich des fernen Ultraviolet (etwa 0,15 bis 0,30  $\mu\text{m}$  Wellenlänge) sind bekannt. US 5 031 976 von Shafer und US 5 488 229 von Elliott und Shafer offenbaren zwei derartige Systeme. Diese Systeme verwenden Linsenelemente, die aus nur einem einzigen lichtbrechenden Material, nämlich Quarzglas, bestehen, da dies praktisch das einzige Material ist, das eine gute Durchlässigkeit für fernes UV-Licht und wünschenswerte physikalische Eigenschaften in sich vereinigt. Beispielsweise gelten Fluoridgläser (basiert auf  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{LiF}$  usw.), obwohl sie für fernes UV-Licht durchlässig sind, im allgemeinen als zu weich, was die Linsenherstellung schwierig macht. Folglich werden Fluoridglasmaterialien normalerweise vermieden, wann immer es möglich ist.

Aus der DE-PS 845 415 sind UV-durchlässige Objektive bekannt, bei denen ein abbildendes Linsensystem zur Korrektur des sekundären Spektrums eines Farbfehlers mit mehreren Linsen aus unterschiedlichen Materialien verwendet 10 wird.

In der eingangs erwähnten Patentschrift US 5 031 976 von Shafer wird ein optisches System offenbart, welches auf dem achromatischen Linsenprinzip von Schupmann basiert, das ein achromatisches virtuelles Bild erzeugt, und welches dieses zur Erzeugung eines reellen Bildes mit einem reflektierenden Übertragungssystem kombiniert. Das System, das hier als Fig. 7 wiedergegeben ist, umfasst eine Abbildungsfehlerkorrektur-Linsengruppe 101 zur Bereitstellung einer 15 Korrektur von Abbildungsfehlern und chromatischer Änderung von Abbildungsfehlern, eine Fokussierlinse 103, die zur Erzeugung eines Zwischenbildes 105 Licht von der Gruppe 101 empfängt, eine beim Zwischenbild 105 angeordnete Feldlinse 107 aus demselben Material wie die anderen Linsen, eine dicke Linse 109 mit einer ebenen Spiegelschicht 111 auf der Rückseite, deren Brechkraft und Position ausgewählt sind, um den primären Farblängsfehler des Systems in Verbindung mit der Fokussierlinse 103 zu korrigieren, und einen zwischen dem Zwischenbild und der dicken Linse 109 angeordneten sphärischen Spiegel 113 zur Erzeugung eines Endbildes 115. Die meiste Fokussierwirkung des Systems ist 20 dem sphärischen Spiegel 113 zuzuschreiben. Er weist in der Mitte ein kleines Loch nahe dem Zwischenbild 105 auf, um das Licht vom Zwischenbild 105 zur dicken Linse 109 hindurchzulassen. Die Spiegelschicht 111 auf der Rückseite der dicken Linse 109 weist ebenfalls in der Mitte ein kleines Loch 119 auf, um das durch den sphärischen Spiegel 113 fokussierte 25 Licht zum Endbild 115 durchzulassen. Während der primäre (axiale) Farblängsfehler durch die dicke Linse 109 korrigiert wird, weist die beim Zwischenbild 105 angeordnete Feldlinse 107 vom Offner-Typ eine positive Brechkraft auf, um den sekundären Farblängsfehler zu korrigieren. Das Anordnen der Feldlinse ein wenig auf einer Seite des Zwischenbildes 105 korrigiert den tertiären Farblängsfehler. Folglich werden axiale Farbfehler über einen breiten Spektralbereich 30 vollständig korrigiert. Das System korrigiert zufällig auch Farbvergrößerungsfehler (im folgenden auch als Farbquerfehler bezeichnet) eines schmalen Bereiches, aber reicht nicht aus zur Bereitstellung einer vollständigen Korrektur 35 von restlichen (zweiter und höherer Ordnung) Farbquerfehlern über ein breites UV-Spektrum.

Das vorstehend erwähnte Objektiv gemäß US 5 488 229 von Elliott und Shafer stellt eine modifizierte Version des optischen Systems des Patents US 5 031 976 bereit, das für die Verwendung bei Hochleistungs-Excimerlaser-Anwendungen mit einer Wellenlänge von 0,193  $\mu\text{m}$ , wie beispielsweise der Abschmelzung einer Oberfläche 121', wie in Fig. 8 zu sehen, optimiert wurde. Dieses System besitzt die Abbildungsfehlerkorrekturgruppe 101', die Fokussierlinse 103', den 40 Zwischenbrennpunkt 105', die Feldlinse 107', die dicke Linse 109', die Spiegelflächen 111' und 113' mit kleinen Öffnungen 117' und 119' in deren Mitte und einen Endbrennpunkt 115' des vorherigen Patents '976, hier wurde die Feldlinse 107' jedoch neu angeordnet, so daß das Zwischenbild oder der Zwischenbrennpunkt 105' außerhalb der Feldlinse 107' liegt, um einen Wärmeschaden durch die hohen Leistungsdichten, die durch die Fokussierung des Excimerlaser-Lichts erzeugt werden, zu vermeiden. Des Weiteren sind beide Spiegelflächen 111' und 113' auf den Linsenelementen 108' und 109' gebildet. Das gesamte vereinigte Licht tritt durch beide Linsenelemente 108' und 109' hindurch, die dieselbe Korrektur des 45 primären Farblängsfehlers wie die einzelne dicke Linse 109 in Fig. 7 bereitstellen, jedoch mit einer Verringerung der Gesamtdicke. Da ebenes Quarzglas bei der sehr kurzen Wellenlänge von 0,193  $\mu\text{m}$  beginnt, Absorptionsprobleme aufzuweisen, ist die Verringerung der Dicke bei dieser Wellenlänge für Hochleistungsniveaus vorteilhaft. Obwohl die für dieses optische System verwendete Excimerlaserquelle eine relativ enge Spektrallinienbreite aufweist, ist die Dispersion 50 von Quarz nahe der Wellenlänge 0,193  $\mu\text{m}$  groß genug, daß nach wie vor eine gewisse Farbkorrektur vorgesehen werden muß. Beide vorhergehenden Systeme weisen eine numerische Apertur von etwa 0,6 auf.

Der Farblängsfehler (axialer Farbfehler) ist eine Änderung der bildseitigen Schnittweite mit der Wellenlänge. Das in Fig. 7 dargestellte System korrigiert vollständig den primären, sekundären und tertiären Farblängsfehler über einen breiten Wellenlängenbereich im nahen und fernen Ultraviolet (0,2  $\mu\text{m}$  bis 0,4  $\mu\text{m}$ ). Der Farbquerfehler ist die Änderung in 55 der Vergrößerung oder Bildgröße mit der Wellenlänge und ist nicht mit dem Farblängsfehler verbunden. Das vorhergehende System von Fig. 7 korrigiert den primären Farbquerfehler vollständig, jedoch nicht den restlichen Farbquerfehler. Dies ist der Grenzabbildungsfehler in dem System, wenn ein breiter Spektralbereich erfaßt wird.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein katadioptrisches Abbildungssystem der eingangs genannten Art zu schaffen mit einer 60 Korrektur von Abbildungsfehlern, chromatischer Änderung von Abbildungsfehlern, Farblängsfehlern (axial) und Farbvergrößerungsfehlern, einschließlich einer Korrektur von restlichen (zweiter und höherer Ordnung) Farbvergrößerungsfehlern über einen breiten Spektralbereich im nahen und fernen Ultraviolet-Spektralbereich (0,2 bis 0,4  $\mu\text{m}$ ) und Verwendungsmöglichkeiten für ein solches Abbildungssystem anzugeben.

Diese Aufgabe wird durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruches 1 bzw. der Ansprüche 16, 17 und 21 gelöst. Das Abbildungssystem ist vorzugsweise telezentrisch.

Bei dem katadioptrischen Abbildungssystem wird eine achromatische, mehrgliedrige Feldlinse verwendet, die aus 65 zwei oder mehreren verschiedenen lichtbrechenden Materialien, wie beispielsweise Quarzglas und Fluoridglas, besteht. Die Feldlinse kann ein Duplet oder vorzugsweise ein Triplet sein, deren Linsen zusammengekittet oder alternativ geringfügig voneinander beabstandet sein können. Da sich Quarzglas und Fluoridglas im fernen Ultraviolet in der Dispersion

# DE 197 31 291 C 2

im wesentlichen nicht unterscheiden, müssen die einzelnen Brechkräfte der verschiedenen Komponenten der Feldlinse groß sein. Die Verwendung einer derartigen achromatischen Feldlinse gestattet, daß nicht nur der Farblängsfehler, sondern auch der Farbquerfehler über einen breiten Spektralbereich vollständig korrigiert wird. Nur eine Linse der Feldlinsengruppe muß aus einem anderen lichtbrechenden Material als die anderen Linsen des Systems sein.

Ein optisches System gemäß der vorliegenden Erfindung umfaßt eine Fokussierlinsengruppe mit mehreren Linsen, die vorzugsweise alle aus einer einzigen Materialart gebildet sind, mit lichtbrechenden Oberflächen, die so ausgewählte Krümmungen und Positionen aufweisen, daß das Licht zu einem Zwischenbild fokussiert wird mit hohen Ausmaßen an Korrektur im Endbild von sowohl Abbildungsfehlern als auch chromatischer Änderung von Abbildungsfehlern über einen UV-Wellenlängenbereich von mindestens 0,20 bis 0,29  $\mu\text{m}$ , der sich vorzugsweise über 0,20 bis 0,40  $\mu\text{m}$  erstreckt. Systeme, die für einen UV-Bereich ausgelegt sind, der die Wellenlänge 0,193  $\mu\text{m}$  einschließt, sind ebenfalls möglich. Das System umfaßt ebenfalls die vorstehend erwähnte, nahe dem Zwischenbild angeordnete Feldlinsengruppe, um eine Korrektur von Farbfehlern, einschließlich restlicher Farblängs- und Farbquerfehler, bereitzustellen. Die Zwischenbild-ebene kann sich in Abhängigkeit von der optimalen Gestaltung entweder innerhalb oder außerhalb der Feldlinsengruppe befinden. Eine katadioptrische Gruppe umfaßt einen konkaven, sphärischen Reflektor, der entweder ein Spiegel oder ein Linsenelement mit einer Spiegelschicht sein kann, und einen ebenen oder fast ebenen Reflektor nahe dem Endbild, der ein Linsenelement mit einer Spiegelschicht ist. Beide reflektierenden Elemente weisen in deren Mitte, wo das reflektierende Material fehlt, optische Blenden auf, die gestatten, daß das Licht vom Zwischenbild durch den konkaven Reflektor hindurchtritt, am ebenen (oder fast ebenen) Reflektor auf den konkaven Reflektor reflektiert wird und durch den ebenen (oder fast ebenen) Reflektor hindurchtritt, wobei es auf dem Weg die dazugehörige Linse oder die Linsen durchquert.

Das Abbildungssystem liefert eine numerische Apertur von mindestens 0,7, ein großes Bildfeld von etwa 0,5 mm und ein im wesentlichen flaches Bildfeld über einen breiten Wellenlängenbereich, der sich in den fernen UV-Bereich des Spektrums erstreckt. Das System ist bei einer Menge optischer Anordnungen nützlich, einschließlich Hellefeldbeleuchtung, gerichteter und Ring-(nicht gerichteter)-Dunkelfeldbeleuchtung, Fluoreszenzabbildung, Gesamt-Streulichtungsmessern und konfokalen Mikroskopanordnungen. UV-Abbildungssysteme liefern nicht nur eine bessere optische Auflösung, sondern auch eine bessere Identifizierung von Materialien aufgrund starker Schwankungen der Materialien im Reflexionsvermögen und in der Absorption von UV-Licht, starker Streuung (proportional zu  $\lambda^{-4}$ ), höherer Beugungsordnungen und Fluoreszenz im UV-Spektrum. Breitband-UV-Abbildungssysteme können UV-Lampen als Lichtquellen besitzen, die inkohärentes Licht für eine Abbildung ohne Flecken liefern und die andere spezielle Abbildungsverfahren, wie beispielsweise konfokale Mikroskopie nach Art einer Nipkow-Scheibe, die im UV-Spektrum verwendet werden sollen, ermöglichen. Mögliche Einsatzgebiete für das Abbildungssystem für einen breiten Bereich im fernen UV umfassen Wafer- und Photomasken-Untersuchung, Materialmaskierung und Schneideanwendungen, UV-Lithographie, biologische Mikroskopie, Metallmikroskopie, Spektralanalyse von Probenmaterialien und weitere.

Fig. 1 ist eine schematische Seitenansicht eines katadioptrischen Abbildungssystems gemäß der vorliegenden Erfindung.

Fig. 2 ist ein vergrößerter Teil des Abbildungssystems von Fig. 1 in der Nähe des Zwischenbildes 13, der die Linsen einer achromatischen Feldlinsengruppe für das System zeigt.

Fig. 3 ist ein vergrößerter Teil, vergleichbar mit Fig. 2, eines katadioptrischen Abbildungssystems gemäß der vorliegenden Erfindung, der die Linsen einer alternativen achromatischen Feldlinsengruppe für das System zeigt.

Fig. 4 ist eine schematische Seitenansicht eines katadioptrischen Tubusobjektivs, das zur Begleitung des Abbildungssystems von Fig. 1 ausgelegt ist, wenn es als für unendlich korrigiertes Mikroskopobjektiv verwendet wird.

Fig. 5 ist eine schematische Seitenansicht eines Teils eines katadioptrischen Abbildungssystems gemäß der vorliegenden Erfindung, das für ein Wafer-Untersuchungsgerät mit Dunkelfeld-Streulicht-Abbildung verwendet wird, welche eine schräge Laserstrahl-Beleuchtungsquelle zeigt.

Fig. 6 ist eine schematische Seitenansicht eines Wafer-Untersuchungsgeräts, das das katadioptrische Abbildungssystem der vorliegenden Erfindung als UV-Objektiv für das Untersuchungsgerät verwendet.

Fig. 7 und 8 sind schematische Seitenansichten von katadioptrischen Abbildungssystemen des Standes der Technik.

Mit Bezug auf Fig. 1 besteht ein katadioptrisches Abbildungssystem der vorliegenden Erfindung, das sich für die Verwendung bei Anwendungen mit einem breiten Bereich im fernen Ultraviolett besonders eignet, aus einer Fokussierlinsengruppe 11, die ein Zwischenbild 13 erzeugt, einer nahe dem Zwischenbild 13 angeordneten Feldlinsengruppe 15 zur Bereitstellung einer Korrektur von Farbfehlern, und einer katadioptrischen Gruppe 17, die das Licht vom Zwischenbild 13 zu einem Endbild 19 fokussiert. Das Abbildungssystem ist optimal gestaltet, um sowohl monochromatische (Seidel) Abbildungsfehler als auch chromatische Abbildungsfehler (Längs- und Querfehler) sowie chromatische Änderungen der monochromatischen Abbildungsfehler über einen Wellenlängenbereich zu korrigieren, der sich in den fernen Ultraviolett(UV)-Bereich des Spektrums erstreckt und mindestens 0,20 bis 0,29  $\mu\text{m}$  UV-Licht umfaßt und sich vorzugsweise über einen breiten Bereich erstreckt, der 0,20 bis 0,40  $\mu\text{m}$  UV-Licht umfaßt. Beide Bereiche enthalten die KrF-Excimerlaser-Linie von 0,248  $\mu\text{m}$  und die Quecksilberemissionenlinien von 0,248  $\mu\text{m}$  und 0,254  $\mu\text{m}$ . Der breitere Spektralbereich enthält auch die Quecksilberemissionenlinie von 0,365  $\mu\text{m}$  (im allgemeinen als i-Linie bekannt), die XeF-Excimerlaser-Linie von 0,351  $\mu\text{m}$  und die He-Cd-Laserlinie von 0,325  $\mu\text{m}$ . Eine große Gruppe von anderen Laser- und Bogenlampen-Emissionswellenlängen im Ultravioletten sind ebenfalls vorhanden. Das System könnte auch zur Bereitstellung einer Abbildung mit Farbfehlerkorrektur über andere UV-Wellenlängenbereiche ausgelegt sein. Beispielsweise ist auch ein Wellenlängenbereich von 0,19 bis 0,40  $\mu\text{m}$  möglich, der die ArF-Excimerlaser-Linie von 0,193  $\mu\text{m}$  einschließt. Engere Bereiche könnten ebenfalls verwendet werden. Das katadioptrische System der vorliegenden Erfindung kann für eine Menge von UV-Abbildungsanwendungen ausgelegt werden, einschließlich als UV-Mikroskopobjektiv, als Kollektor für an einer Oberfläche gestreutes UV-Licht in einem Wafer-Untersuchungsgerät oder als Maskenprojektionsoptik für ein UV-Photolithographiesystem.

Die Fokussierlinsengruppe 11 in Fig. 1 besteht aus sieben Linsen 21-27, wobei zwei der Linsen, 21 und 22, durch einen beträchtlichen Abstand von den restlichen fünf Linsen 23-27 getrennt sind. Insbesondere ist der Abstand des Linsenpaares 21 und 22 von den restlichen fünf Linsen 23-27 in dieser Fokussierlinsengruppe typischerweise in der Größen-

# DE 197 31 291 C 2

ordnung von mindestens der Hälfte der gesamten gemeinsamen Dicke der fünf Linsen 23–27, die die fokussierende Hauptuntergruppe bilden. Beispielsweise können die Linsen 23–27 eine Strecke von etwa 60 mm überbrücken und die Linse 22 kann 30 bis 60 mm von der Linse 23 entfernt sein. Die tatsächlichen Abmessungen hängen vom dem für den Aufbau ausgewählten Maßstab ab. Die zwei Linsen 21 und 22 bilden ein Duplet mit näherungsweise der Brechkraft Null für die Korrektur von chromatischer Änderung von monochromatischen Abbildungsfehlern, wie beispielsweise chromatischer Änderung von Koma und Astigmatismus. Wenn dieses Duplet 21 und 22 vom Rest der Systemkomponenten relativ weit entfernt ist, wird die Verschiebung des Lichtstrahls an diesen zwei Linsen mit dem Bildfeldwinkel maximiert. Dies wiederum hilft in hohem Maße, die beste Korrektur von chromatischer Änderung von Abbildungsfehlern zu erreichen. Die fünf Linsen 23–27 der fokussierenden Hauptuntergruppe in Fig. 1 bestehen aus einer dicken, stark brechenden, negativen, meniskusförmigen Linse 23, einer entgegengesetzt gerichteten, stark gekrümmten, negativen, meniskusförmigen Linse 24, einer stark brechenden, bikonvexen Linse 25, einer stark brechenden, positiven, meniskusförmigen Linse 26 und einer entgegengesetzt gerichteten, stark gekrümmten, aber sehr schwach brechenden, meniskusförmigen Linse 27 mit entweder positiver oder negativer Brechkraft. Veränderungen dieser Linsen-Untergruppe 23–27 sind möglich.

Die Untergruppe fokussiert das Licht zu einem Zwischenbild 13. Die Krümmung und Positionen der Linsenflächen sind so ausgewählt, daß sie monochromatische Abbildungsfehler minimieren und auch mit dem Duplet 21–22 zusammenarbeiten, um chromatische Änderungen dieser Abbildungsfehler zu minimieren.

Die in Fig. 2 in einer vergrößerten Ansicht zu sehende Feldlinsengruppe 15 umfaßt typischerweise ein achromatisches Triplet, obwohl auch ein Duplet verwendet werden könnte. Sowohl Quarzglas als auch CaF<sub>2</sub>-Glas werden verwendet. Andere mögliche für das ferne UV durchlässige, lichtbrechende Materialien können MgF<sub>2</sub>-, SrF<sub>2</sub>-, LaF<sub>3</sub>- und LiF-Gläser oder Gemische davon einschließen. Man beachte jedoch, daß einige dieser Materialien doppelbrechend sein können, wenn sie nicht vollständig amorph sind und Mikrokristalle enthalten. Da die Dispersionen zwischen den zwei für UV durchlässigen Materialien, CaF<sub>2</sub>-Glas und Quarzglas, im fernen Ultraviolet nicht sehr unterschiedlich sind, sind die einzelnen Komponenten der Gruppe 15 ziemlich stark. Das Triplet 15 kann eine negative Meniskuslinse 31 aus Quarzglas, eine bikonvexe (positive) Linse 33 aus CaF<sub>2</sub> und eine bikonkav (negative) Linse 35 aus Quarzglas umfassen, die alle zusammengekittet sind. Der optimale Aufbau dieser Anordnung ordnet das Zwischenbild 13 innerhalb der Tripletgruppe 15 an.

Alternativ, wie in Fig. 3 zu sehen, kann die achromatische Feldlinsengruppe zwei entgegengesetzt gerichtete, negative Meniskuslinsen 51 und 53 aus Quarzglas, die geringfügig voneinander beabstandet sind (typischerweise etwa 1,0 mm), gefolgt von einer bikonvexen (positiven) Linse 55 aus CaF<sub>2</sub>, die fast an die zweite der Meniskuslinsen 53 angrenzt, umfassen. Der optimale Aufbau dieser zweiten Anordnung gestattet, daß das Zwischenbild 13 außerhalb der Feldlinsengruppe 15, jenseits der CaF<sub>2</sub>-Linse gebildet wird. Beide Ausführungsformen der Feldlinsengruppe 15 weisen Oberflächenkrümmungen und -positionen auf, die so ausgewählt sind, daß restliche (sekundäre und tertiäre) Farblängs- und Farbquerfehler korrigiert werden. Primäre Farbfehler werden hauptsächlich durch die Linsen in der katadioptrischen Gruppe 17 in Verbindung mit der Fokussierlinsengruppe 11 korrigiert. Die Verwendung von zwei oder mehr verschiedenen lichtbrechenden Materialarten in der Feldlinsengruppe, beispielsweise sowohl Quarzglas als auch CaF<sub>2</sub>-Glas, gestattet, daß der restliche Farbquerfehler vollständig korrigiert wird, zusätzlich zu den Korrekturen der Farblängsfehler, die bereits von den aus dem Stand der Technik bekannten Feldlinsen aus einem einzigen Material bereitgestellt werden.

Wie in den Fig. 2 und 3 zu sehen, kann sich das Zwischenbild 13 entweder innerhalb oder außerhalb der Feldlinsengruppe 15 befinden. Wenn sich das Zwischenbild 13 innerhalb der Gruppe 15 befindet, wird eine maximale Abbildungsfehlerkorrektur erreicht. Alternativ kann es in Fällen, bei denen die Gefahr besteht, daß hohe optische Leistungsdichten an dem Glasmaterial einer oder mehrerer Feldlinsen einen Schaden verursachen können, erwünscht sein, daß sich das Bild 13 außerhalb der Feldlinsengruppe 15 befindet. Des weiteren sind kleine Abbildungsfehler aufgrund von Glasinhomogenitäten um einen Faktor geringer, wenn die Feldlinsengruppe 15 ein wenig vom Zwischenbild 13 entfernt angeordnet ist.

Die in Fig. 1 zu sehende katadioptrische Gruppe 17 umfaßt ein erstes optisches Element, das aus einer Meniskuslinse 39 aus Quarzglas mit einer konkaven reflektierenden Oberflächenbeschichtung 41 auf einer Rückseite der Linse 39 besteht, und umfaßt ebenfalls ein zweites optisches Element, das aus einer Linse 43 aus Quarzglas mit einer reflektierenden Oberflächenbeschichtung 45 auf einer Rückseite der Linse 43 besteht. (Die Vorderflächen der zwei Linsenelemente 39 und 43 der katadioptrischen Gruppe 17 liegen einander gegenüber.) Die reflektierenden Oberflächenbeschichtungen 41 und 45 bestehen typischerweise aus Aluminium, eventuell mit einem MgF<sub>2</sub>-Überzug, um Oxidation zu verhindern. Aluminium weist ein fast gleichmäßiges Reflexionsvermögen von mindestens 92% über den gesamten Wellenlängenbereich des nahen und fernen UV auf. Andere Metalle, die im allgemeinen im sichtbaren Bereich des Spektrums als Spiegelschichten verwendet werden, weisen Reflexionsvermögen auf, die sich mit der Wellenlänge beträchtlich ändern oder im fernen UV sogar opak werden. Beispielsweise nimmt Silber bei 0,32 μm auf ein Reflexionsvermögen von nur 4% ab. Mögliche Alternativen zu Aluminium, jedoch mit ein wenig geringeren Reflexionsvermögen nahe 60%, schließen Mo-lybdän, Wolfram und Chrom ein. Diese können bei bestimmten Hochleistungsanwendungen, wie beispielsweise Laserabschmelzung, bevorzugt werden. Spezielle Beschichtungen, einschließlich dichroitische, reflektierende Materialien mit langwelligem Durchlaßbereich, kurzwelligem Durchlaßbereich und Bandpaß, teilweise durchlässige und reflektierende Materialbeschichtungen und Leuchtschichten, könnten alle für eine Vielzahl von speziellen Anwendungen verwendet werden.

Die erste Linse 39 der katadioptrischen Gruppe 17 weist längs der optischen Achse des Systems eine in deren Mitte gebildete Öffnung 37 auf. Die Spiegelschicht 41 auf der Linsenoberfläche endet gleichermaßen bei der Öffnung 37 in der Mitte, was eine zentrale optische Blende hinterläßt, durch die das Licht entweder durch die Linse 39 oder deren Spiegelschicht 41 ungehindert hindurchtreten kann. Die durch die Öffnung 37 definierte optische Blende befindet sich in der Nähe des Zwischenbildes 13, so daß sie einen minimalen optischen Verlust gibt. Die achromatische Feldlinsengruppe 15 ist in oder nahe der Öffnung 37 angeordnet. Die zweite Linse 43 selbst besitzt normalerweise keine Öffnung, sondern es ist eine in der Mitte angeordnete Öffnung oder ein Fenster 47 in der reflektierenden Oberflächenbeschichtung 45 dort.

# DE 197 31 291 C 2

vorhanden, wo die Beschichtung fehlt, was eine weitere optische Blende an der zentralen Stelle des Fensters 47 hinterläßt. Die optische Blende in der Linse 39 mit deren Spiegelschicht 41 muß nicht durch eine Öffnung 37 in der Linse 39 definiert sein, sondern könnte dagegen lediglich durch ein Fenster in der Beschichtung 41 definiert sein, wo das Spiegelschichtmaterial fehlt, ebenso wie bei der Linse 43 und der Beschichtung 45. In diesem Fall würde das Licht ein weiteres Mal durch die lichtbrechenden Oberflächen der Linse 39 hindurchtreten.

Die Spiegelschicht 45 kann entweder eben oder vorzugsweise leicht gekrümmt sein. Die leichte Krümmung wird für dieses Element eine gewisse Zentriertoleranz bereitstellen. Wenn das reflektierende Element 45 leicht gekrümmt ist, wird es überdies eine Waferoberfläche oder einen anderen Gegenstand, der durch das katadioptrische System abgebildet werden soll, weniger wahrscheinlich berühren und die Beschädigung sowohl der Spiegelschicht 45 als auch des Gegenstandes, die aus irgendeiner derartigen Berührung resultieren würde, vermeiden.

Das Licht von dem Zwischenbild 13 verläuft durch die optische Blende 37 in der ersten Linse 39, dann durch den Körper der zweiten Linse 43, wo es an der ebenen oder fast ebenen Spiegelschicht 45 auf der Rückseite der Linse 43 durch den Körper der zweiten Linse 43 hindurch zurückreflektiert wird. Das Licht verläuft dann durch die erste Linse 39, wird an der Spiegelfläche 41 reflektiert und läuft zurück durch den Körper der ersten Linse 39. Schließlich verläuft das nun streng konvergente Licht zum dritten Mal durch den Körper der zweiten Linse 43, durch die optische Blende 47 zum Endbild 47 [19]. Die Krümmungen und Positionen der ersten und zweiten Linsenflächen sind so ausgewählt, daß primäre Farblängs- und Farbquerfehler in Verbindung mit der Fokussierlinsengruppe 11 korrigiert werden.

Die Linsen des erfindungsgemäßen Abbildungssystems können verkittet oder unverkittet sein. Das Verkitten der Linsenelemente vereinfacht die Anordnung, was zu einem preiswerteren Objektiv führt. Es führt auch zu einem verschleißfesteren Gerät, bei dem die verkitteten Linsen ziemlich unwahrscheinlich die Ausrichtung verlassen. Des weiteren kann das Verkittungsverfahren verwendet werden, um gegen Umwelteinflüsse empfindliche Materialien, wie beispielsweise die CaF<sub>2</sub>-Feldlinse, zwischen den anderen Linsen der Feldlinsengruppe einzuschließen. Andererseits, da die polymeren Materialien, die in Linsensystemen als Kitt verwendet werden, durch fernes UV-Licht beschädigt werden können, was eventuell zu einem Qualitätsverlust des optischen Systems führt und bei einigen Hochleistungs-UV-Anwendungen für eine unbestimte Lebensdauer sorgt, werden Systeme mit unverkitteten Linsen bei jenen Anwendungen von Hochleistungssystemen im fernen UV, bei denen eine Langzeitzuverlässigkeit ein wichtiger Punkt ist, bevorzugt. Dies ist ein wichtiger Gesichtspunkt bei der Auswahl eines verkitteten oder nicht-verkitteten Aufbaus für die Feldlinsengruppenelemente, die nahe dem Zwischenbild angeordnet sind, wo die UV-Strahlung am stärksten konzentriert ist.

Es folgen nun spezielle Werte für zwei Beispiele von optimierten Breitband-Systemausführungen, eines für die Feldlinsengruppe von Fig. 2 und das andere für die alternative Feldlinsengruppe von Fig. 3. Die Daten der Linsenflächen basieren auf Brechzahlen (relativ zur Luft) für die Wellenlängen 0,200, 0,220, 0,245, 0,290 und 0,400 µm. Die erhaltenen Ausführungen weisen eine numerische Apertur von etwa 0,9 und eine Bildfeldgröße mit einem Durchmesser von etwa 0,5 mm auf. Änderungen der Ausführung können für eine etwas geringere numerische Apertur, beispielsweise etwa 0,7, einfach durch erneute Optimierung der Oberflächenkrümmungen für die gewünschten Parameter ausgeführt werden. Eine solche Änderung wäre für eine Strichplattenuntersuchung geeignet, bei der längere Arbeitsabstände bevorzugt sind. Durch geringfügige Anpassungen an die Oberflächenkrümmungen und Gestalten eines schmaleren Wellenlängenbereiches, über den Farblängsfehler und Farbquerfehler korrigiert werden, kann das System ebenso optimiert werden, um das ArF-Excimerlaser-Licht von 0,193 µm über einen breiten Bereich von 0,19 bis 0,40 µm oder über einen schmaleren Bereich einzuschließen.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

# DE 197 31 291 C 2

Konstruktionsdaten (Ausführungsform # 1)

Oberfläche Nr.	Krümmungsradius (mm)	Abstand (mm)	Material
1	1105,7	4,000	Quarzglas
2	53,051	2,500	Luft
3	284,061	5,000	Quarzglas
4	- 57,181	60,000	Luft
5	39,782	15,000	Quarzglas
6	13,379	7,977	Luft
7	- 12,955	5,169	Quarzglas
8	- 17,192	1,000	Luft
9	42,964	8,000	Quarzglas
10	- 55,269	1,000	Luft
11	18,436	8,000	Quarzglas
12	91,574	6,253	Luft
13	- 20,802	4,000	Quarzglas
14	- 21,768	17,120	Luft
15	7,217	5,494	Quarzglas
16	2,259	3,000	CaF <sub>2</sub> Glas
17	- 11,760	1,500	Quarzglas
18	373,721	39,730	Luft
19	Flach	7,000	Quarzglas
20	Flach	- 7,000	Reflektor / Quarzglas
21	Flach	- 36,000	Luft
22	50,470	- 9,500	Quarzglas
23	64,290	9,500	Reflektor / Quarzglas
24	50,470	36,000	Luft
25	Flach	7,000	Quarzglas
26	Flach	1,500	Luft

55

60

65

# DE 197 31 291 C 2

## Konstruktionsdaten (Ausführungsform # 2)

Oberfläche Nr.	Krümmungsradius (mm)	Abstand (mm)	Material	
1	- 67,007	4,000	Quarzglas	5
2	50,308	2,000	Luft	
3	120,297	6,000	Quarzglas	
4	- 37,494	30,636	Luft	10
5	24,138	10,000	Quarzglas	
6	13,441	9,532	Luft	
7	- 13,518	7,546	Quarzglas	15
8	- 17,997	1,000	Luft	
9	34,465	6,000	Quarzglas	
10	- 517,022	1,000	Luft	20
11	18,268	10,000	Quarzglas	
12	965,352	4,181	Luft	
13	- 30,177	9,746	Quarzglas	25
14	- 28,138	7,892	Luft	
15	- 19,346	2,500	Quarzglas	
16	- 36,530	1,000	Luft	
17	6,687	5,026	Quarzglas	
18	2,044	0,017	Luft	30
19	2,044	2,000	CaF <sub>2</sub> Glas	
20	- 90,635	36,108	Luft	
21	- 908,968	7,000	Quarzglas	35
22	- 1000,0	- 7,000	Reflektor / Quarzglas	40
23	- 908,968	- 36,000	Luft	
24	48,244	- 9,500	Quarzglas	
25	63,204	9,500	Reflektor / Quarzglas	45
26	48,244	36,000	Luft	
27	- 908,968	7,000	Quarzglas	50
28	- 1000,0	1,500	Luft	

Mit Bezug auf Fig. 4 ist ein Tubusaufbau für die Verwendung des Abbildungssystems von Fig. 1 als Mikroskopobjektiv gezeigt. Die Beleuchtung einer durch das Objektiv von Fig. 1 abgebildeten Probenoberfläche kann durch das Objektiv selbst mittels einer Ultraviolettlichtquelle 61, wie beispielsweise einer Quecksilberdampflampe oder eines Excimerlasers, zusammen mit einer üblichen Beleuchtungsoptik 63, 65, 67, die zu einem Strahlteiler 69 im Strahlengang des Objektivs führt, durchgeführt werden. Der Abbildungsweg für das vom Objektiv von Fig. 1 empfangene Licht verläuft über die Transmission durch den Strahlteiler 69 zu einem Mikroskopibus, dessen Ausführung ebenfalls katadioptrisch sein kann. Die Tubuselemente umfassen ein Paar entgegengesetzter, negativer Meniskuslinsen 71 und 73, die eng beieinander liegen, und zwei sphärische Spiegel 75 und 77, die voneinander und von dem Linsenpaar 71 und 73 durch mindestens 400 mm beabstandet sind. Die Krümmung des Spiegels 75 ist konkav gegenüber den Linsen 71 und 73 und dem Spiegel 77, während die Krümmung des Spiegels 77 gegenüber dem Spiegel 75 konvex ist, wobei beide Krümmun-

60

65

## DE 197 31 291 C 2

gen einen Radius von mindestens 1000 mm aufweisen, d. h. fast flach sind. Die Spiegel 73 und 75 lenken den Strahlenweg von der Achse weg, so daß die Systemlänge weniger als 500 mm beträgt. Ein Beispiel, das für das spezielle in Fig. 1 zu sehende Objektiv optimiert ist, weist für die optischen Elemente 71, 73, 75 und 77 die nachstehenden charakteristischen lichtbrechenden und reflektierenden Oberflächen auf:

5

10

15

Oberfläche Nr.	Krümmungsradius (mm)	Abstand (mm)	Material
1	- 92,965	4,989	Quarzglas
2	- 96,420	1,000	Luft
3	89,440	4,616	Quarzglas
4	87,394	413,186	Luft
5	- 1219,4	-413,186	Reflektor
6	- 1069,7	463,186	Reflektor

Mit Bezug auf Fig. 5 ist noch ein weiterer Verwendungszweck für das Abbildungssystem von Fig. 1 die Untersuchung eines Wafers, nämlich als Streulichtkollektor mit gerichtetem Dunkelfeld. Eine UV-Laser-Beleuchtungsquelle 81 lenkt einen Strahl 85 durch die in den Linsen 39" und 43" und den Spiegelschichten 41" und 45" der katadioptrischen Gruppe gebildeten Löcher 83 und 87 auf eine zu untersuchende Oberfläche 89. Alternativ könnten nur die Spiegelschichten 41" und 45" fehlen oder nur teilweise reflektierend sein, um für den Lichtstrahl 85 durchlässige oder zumindest teilweise durchlässige Fenster zu bilden. Der Strahl 85 könnte auch von unterhalb des halbkugelförmigen Reflektors 41" in das System eintreten. Der Einfallswinkel ist schräg, d. h. mindestens 60° zur Vertikalen, aufgrund der hohen numerischen Apertur (etwa 0,90) des Abbildungssystems. Die Beleuchtung kann aus mehr als einer Richtung und einem Einfallswinkel veranlaßt werden. Das spiegelnd reflektierte Licht 93 verläuft durch die in den Linsen 39" und 41" und den Spiegelschichten 41" und 45" der katadioptrischen Gruppe (oder nur in den Beschichtungen 41" und 45") gebildeten Löcher 91 und 95. Das durch die Eigenschaften an der Probenoberfläche 89 gestreute UV-Licht wird durch das katadioptrische Abbildungssystem von Fig. 1 abgebildet, beginnend mit der katadioptrischen Gruppe, dann durch die achromatische Feldlinsengruppe und Fokussierlinsengruppe zu den Tubuselementen 71, 73, 75 und 77 des Tubussystems (ohne die Beleuchtungsgruppe 61-69).

Eine Ringdunkelfeldbeleuchtung kann anstelle der gerichteten Dunkelfeldbeleuchtung von Fig. 5 verwendet werden. In diesem Fall beleuchtet eine Ringbeleuchtungsquelle, wie beispielsweise eine ringförmige Blitzlampe, einen Ring oder teilweisen Ring aus Licht durch eine entsprechende Öffnung oder eine teilweise reflektierende Fläche der Beschichtung in dem halbkugelförmigen Reflektor. Dies kann mit mehr als einem Lichteinfallswinkel auf den zu betrachtenden Gegenstand ausgeführt werden.

Bei noch einer weiteren alternativen Ausführungsform kann das Objektiv als Kuppelstreulichtungsmesser verwendet werden. Die reflektierenden Komponenten in einem solchen System können mit diffusen Leuchtschichten mit einem langwelligen Durchlaßbereich, einem kurzweligen Durchlaßbereich oder Bandpaß beschichtet sein. Die optischen Komponenten selbst werden dann auf eine Gruppe von Detektoren abgebildet, die rund um den halbkugelförmigen Reflektor angeordnet sind, um die gesamte Streufigur der Fluoreszenzemission der Beschichtungen zu messen. Alternativ würde eine dichroitische oder teilweise reflektierende und teilweise durchlässige halbkugelförmige Spiegelschicht eine direkte Messung von Streulicht, das durch die Beschichtung durchgelassen wird, ermöglichen.

Fig. 6 zeigt ein Wafer-Untersuchungsgerät, das das katadioptrische Abbildungssystem als UV-Objektiv 86 für das Gerät verwenden kann. Das Gerät kann gemäß einem oder mehreren der US-Patentschriften 4 247 203; 4 556 317; 4 618 938; und 4 845 558 konstruiert werden. Ein Halbleiterwafer 82 mit einer Vielzahl von Matrizen bzw. Chips 84 für integrierte Schaltungen in einem gewissen Herstellungsstadium auf dem Wafer 82 ist auf einem Träger oder einem Objekttrichter 80 liegend gezeigt. Der Objekttrichter 80 ist in der Lage, eine Bewegung des Wafers 80 [82] mit Komponenten einer Translationsbewegung, X und Y, und einer Rotationsbewegung, Θ, bezüglich eines UV-Mikroskopobjektivs 86, wie beispielsweise des in Fig. 1 zu sehenden katadioptrischen Abbildungssystems, bereitzustellen. Das Licht 83, das von einer Matrize 84 oder einem Teil einer Matrize gesammelt und durch das Objektiv 86 in ein vergrößertes Bild dieser Matrize oder des Teils umgewandelt wurde, wird durch eine Übertragungslinse oder ein Linsensystem 90, wie beispielsweise das Tubuslinsensystem, das in Fig. 4 zu sehen ist, in die Blende einer Video- oder CCD-Feld-Kamera 92, die für fernes UV-Licht empfindlich ist, übertragen. Die Ausgangsdaten 94 der Kamera 92 werden in einen Datenprozessor 96 eingespeist, der die zum UV-Bild der Matrize oder des Matrizenteils gehörenden Pixeldaten entweder mit Daten, die anderen Teilen des Bildes entsprechen, oder mit gespeicherten Daten von vorhergehenden Bildern, die zu einer anderen Matrize oder anderen Matrizenteilen gehören, vergleicht. Die Ergebnisse dieses Vergleichs werden als Daten 98 in eine Ausgabevorrichtung, wie beispielsweise einen Drucker oder eine CRT-Anzeige, oder in eine Datenspeichereinheit eingespeist.

Ein Vorteil des Breitband-UV-Objektivs der vorliegenden Erfindung mit einer Korrektur von Farbquerfehlern ist deren großes Bildfeld mit einem Durchmesser von etwa 0,5 mm, verglichen mit vorhergehenden Schmalband-UV-Linsen, die ein Bildfeld in der Größenordnung von 0,1 mm oder weniger aufweisen. Dies liefert ein Bildfeld mit einer mindestens 25mal größeren Fläche, was eine Hochgeschwindigkeitsuntersuchung einer Waferoberfläche, einer Strichplatte oder eines ähnlichen Gegenstandes gestattet.

Untersuchungen, deren Durchführung früher 20 bis 30 Minuten gedauert hat, können nun in etwa einer Minute durchgeführt werden. Die neue Linse weist auch ein deutlich abgeflachtes Bildfeld auf, was für Oberflächenbetrachtung und -untersuchung eine Notwendigkeit darstellt. Man beachte, daß es bisher kein Breitband-UV-Objektiv gab. Das gebräuch-

# DE 197 31 291 C2

liche Objektiv Ultrafluor 100x von Zeiss erfordert das Einstellen eines Rings und Nachfokussieren, damit es bei einer speziellen Wellenlänge verwendet werden kann.

Der wichtigste Vorteil ist jedoch die Tauglichkeit des Objektivs für viele Wellenlängen. Vorhergehende UV-Objektive sind Ausführungen für relativ schmale Bereiche, bei denen aufgrund signifikanter Farbfehler über so kleine Wellenlängenbereiche wie 10 nm im fernen UV (beispielsweise nahe 248 nm) eine gute Leistung auf Lichtquellen mit einer einzigen Wellenlänge begrenzt ist. Bei vielen Anwendungen sind Lichtquellen mit mehreren Wellenlängen, wie beispielsweise Xenon-Blitzlampen und -bogenlampen, aufgrund ihrer geringen Kosten und des Fehlens von kohärenten Artefakten die bevorzugte Lichtquelle. Derartige Lichtquellen erfordern eine Korrektur von primären und restlichen Farblängs- und Farbquerfehlern über einen breiteren Wellenlängenbereich von mindestens 20 nm und vorzugsweise über 100–200 nm breite Bereiche. In anderen Fällen können zahlreiche Lichtquellen mit sehr unterschiedlichen Wellenlängen in einem einzigen System verwendet werden, was wiederum eine Farbkorrektur eines breiten Bereiches im UV-Spektrum erfordert.

Für eine Wafer-Untersuchungsvorrichtung mit sowohl auf der i-Linie (365 nm) als auch fernem UV von 248 nm basierenden Stufenvorrichtungen ermöglicht das Breitband-UV-Objektiv der vorliegenden Erfindung, daß ein Strichplatten-Untersuchungssystem eine auswählbare Wellenlängenbeleuchtung mit der i-Linie oder mit 248 nm aufweist, um die Belichtungswellenlänge anzupassen, für die eine Strichplatte oder eine Maske konstruiert wurde. Eine solche Wellenlängenanpassung ist beispielsweise für die Untersuchung von hochentwickelten Phasenverschiebungsmasken wichtig. Die Breitband-UV-Linse der vorliegenden Erfindung ermöglicht ebenso die Konstruktion eines Systems mit auswählbarer Wellenlänge für eine verbesserte Untersuchung von Photoresistlack auf Wafers. Ein Photoresistlack ist ein Material, das für sichtbares Licht durchlässig ist, was einen geringen Kontrast für die Untersuchung bei diesen Wellenlängen ergibt. Der Photoresistlack wird jedoch bei den kürzeren UV-Wellenlängen undurchlässig, wobei unterschiedliche Resistlacke bei unterschiedlichen Wellenlängen undurchlässig werden. Folglich können Wafer mit einem i-Linien-Photoresistlack mit einer hohen Empfindlichkeit bei einer Wellenlänge von etwa 313 nm, wo dieser undurchlässig ist, untersucht werden. Wafer mit einem Photoresistlack für fernes UV (248 nm) können bei einer anderen Wellenlänge von etwa 220 nm untersucht werden. Das Linsensystem der vorliegenden Erfindung gestattet, daß dasselbe Untersuchungsgerät beide Arten von Photoresistlack untersucht.

In einer ähnlichen Art und Weise kann die Abbildung von UV-Licht mehrerer Wellenlängen beim Deuten des betrachteten Bildes helfen. Beispielsweise variieren verschiedene Materialien in ihren Reflexionsvermögen bei verschiedenen UV-Wellenlängen. D. h., sie haben das, was analog zur Farbe im sichtbaren Licht als "UV-Farbe" bezeichnet werden könnte. Die meisten Metalle werden im Gegensatz Aluminium opak, während Silizium im fernen UV-Licht stärker reflektiert. Wenn sie mit einer UV-Kamera kombiniert wird, die ein UV-Photodetektor-Abbildungsfeld und eine Anordnung aus wellenlängenselektiven UV-Transmissionsfiltern besitzt, kann das Breitband-UV-Abbildungssystem der vorliegenden Erfindung verwendet werden, um ein "UV-Farb"-Bild des untersuchten Gegenstandes zu liefern. Dies wäre bei der Klassifizierung von Fehlern und Eigenschaften auf einem Wafer nützlich. Das UV-Abbildungsfeld kann beispielsweise mit  $Cs_2Te$ -,  $Cs_3Sb$ -,  $K_2CsSb$ - oder  $GaAsP$ -Detektorelementen hergestellt werden. Mikrolinsen-Feld-CCDs wurden ebenfalls für die UV-Abbildung entwickelt.

Gleichermaßen kann ein System aufgebaut werden, das Materialien auf Fluoreszenz basierend analysiert. Viele Materialien, einschließlich der meisten organischen Materialien, wie beispielsweise Photoresistlacke, fluoreszieren, sie reagieren jedoch auf verschiedene Anregungswellenlängen und sie emittieren bei verschiedenen Fluoreszenzwellenlängen. Mit der Breitband-UV-Abbildungslinse der vorliegenden Erfindung kann ein Fluoreszenznachweisssystem mit einer einstellbaren Wellenlänge von etwa 0,2 bis 0,4  $\mu m$  aufgebaut werden. Durch Analysieren der Fluoreszenzwellenlänge können die Zusammensetzungen der betrachteten Materialien bestimmt werden. Die UV-reflektierenden Komponenten des katadioptrischen Systems können mit dichroitischen Beschichtungen mit langwelligem Durchlaßbereich, kurzwelligem Durchlaßbereich oder Bandpaß beschichtet sein, um die Fluoreszenzsignale abzubilden, während das reflektierte oder gestreute Anregungslicht gesperrt wird.

Die Schärfentiefe eines optischen Systems (proportional zur Wellenlänge und umgekehrt proportional zum Quadrat der numerischen Apertur des Systems) ist von sich aus im ultravioletten Spektrum sehr gering (typischerweise in der Größenordnung von 0,1 bis 0,5  $\mu m$ ). Dies kann bei der Abbildung von gemusterten Wafers und anderen ähnlichen Oberflächen mit nicht-ebenen Profilen ein Problem hervorrufen. Mit der Breitband-UV-Optik der vorliegenden Erfindung können wir eine mehrfache Abbildung mit UV-Wellenlängen bei verschiedenen Tiefen und Computersoftware-Integration der erhaltenen Bilder verwenden, um die Schärfentiefe auf etwa 1  $\mu m$  zu erweitern. Beispielsweise können wir die Oberfläche eines Wafers oder anderen Gegenstandes mit drei unterschiedlichen UV-Farben mit einem Wellenlängenabstand von etwa 10 bis 50 nm (beispielsweise bei 0,20, 0,22 und 0,24  $\mu m$ ) in drei unterschiedlichen Brennebenen für die unterschiedlichen Wellenlängen abtasten, um unterschiedliche Scheiben der Oberfläche abzubilden. Eine konfokale Mikroskopanordnung mit dem UV-Objektiv der vorliegenden Erfindung und mit drei Detektoren, die entsprechende Bandpaßfilter aufweisen, könnte für diesen Zweck verwendet werden. Die drei Bilder können dann von einem Computer integriert werden, um ein zusammengesetztes Bild mit der erhöhten Schärfentiefe zu erzeugen. Die geringe Schärfentiefe des Linsensystems mit der hohen N. A. kann ebenfalls vorteilhaft verwendet werden, um Bildscheiben mit hoher Auflösung bei verschiedenen Tiefen zu erzeugen, die zur Bildung eines 3-D-Bildes integriert werden können.

Das UV-Abbildungssystem der vorliegenden Erfindung ist bei vielen verschiedenen Verfahren der Mikroskopie, einschließlich der vorstehend erwähnten Hellfeld-, Dunkelfeld und Fluoreszenzverfahren, sowie Phasenkontrast, Polarisationskontrast, Differential-Interferenzkontrast und anderen Verfahren verwendbar. Beispielsweise kann das System in einer konfokalen Mikroskopanordnung mit einer UV-Lampe und bei Vollfeldabbildung anstelle einer Abtast-Laservorrichtung verwendet werden. Bei all diesen Verfahren kann das erfundungsgemäße Abbildungssystem verwendet werden.

## Patentansprüche

1. Katadioptrisches Abbildungssystem für einen breiten Bereich im Ultravioletten, bei welchem der Farblängsfehler

# DE 197 31 291 C 2

bis zur dritten Ordnung und der Farbvergrößerungsfehler erster Ordnung korrigiert sind, mit:  
einer Fokussierlinsengruppe (11) zur Erzeugung eines Zwischenbilds (13),  
einer Feldlinsengruppe (15) mit einer positiven Brechkraft, die im Strahlengang beim oder nahe dem Zwischenbild (13) angeordnet ist, und  
einer katadioptrischen Gruppe (17), **dadurch gekennzeichnet**, daß die Feldlinsengruppe (15) eine achromatische Linsengruppe ist und mehrere Linsen (31, 33, 35; 51, 53, 55) umfaßt, die aus mindestens zwei verschiedenen lichtbrechenden Materialien mit verschiedenen Dispersionen gebildet sind.

5. Katadioptrisches Abbildungssystem nach Anspruch 1, bei dem die Feldlinsengruppe (15) drei Linsen (31, 33, 35; 51, 53, 55) aufweist, von denen mindestens eine eine positive Linse (33, 55) aus einem anderen lichtbrechenden Material als alle anderen Linsen des Systems und mindestens eine ein negativer Meniskus (31; 51, 53) ist.

10. Katadioptrisches Abbildungssystem nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Fokussierlinsengruppe (11) mehrere Linsen (21 bis 27) umfaßt, im Ultraviolettsicht das Zwischenbild (13) innerhalb des Systems fokussiert und gleichzeitig in Verbindung mit dem Rest des Systems ebenfalls in hohem Maße eine Korrektur sowohl von Abbildungsfehlern als auch von chromatischer Änderung von Abbildungsfehlern über einen Wellenlängenbereich, der mindestens 0,193-0,4  $\mu\text{m}$  umfaßt, bereitstellt, und die katadioptrische Gruppe (17) ein erstes optisches Element (39, 39') mit mindestens einer konkaven Spiegelfläche (41, 41') mit einer zentralen optischen Blende (37, 37') darin, die im Strahlengang nahe dem Zwischenbild angeordnet ist, so daß Ultraviolettsicht vom Zwischenbild hindurchtreten kann, umfaßt, wobei die katadioptrische Gruppe (17) ebenfalls ein zweites optisches Element (43) umfaßt, das eine Linse (43) mit einer Spiegelschicht (45) auf der Rückseite der Linse (43) ist, mit Ausnahme einer zentralen Fläche (47) auf der Rückseite, wo die Spiegelschicht (45) fehlt, wobei die optischen Elemente der katadioptrischen Gruppe (17) derart angeordnet sind, daß Ultraviolettsicht vom Zwischenbild (13), das durch die zentrale optische Blende (37, 37') des ersten optischen Elements (39, 39') der katadioptrischen Gruppe (17) durchgelassen wird, durch den Linsenbereich (43) des zweiten optischen Elements der katadioptrischen Gruppe (17) hindurchtritt, an der Spiegelschicht (45) auf der Linsenrückseite reflektiert wird, durch den Linsenbereich (39, 39') in Richtung der konkaven Spiegelfläche (41, 41') des ersten optischen Elements zurückläuft, daran reflektiert wird und ein drittes Mal durch den Linsenbereich (43) des zweiten optischen Elements und durch die zentrale Fläche (47) der Linsenrückseite (45) hindurchtritt, um jenseits der katadioptrischen Gruppe (17) ein Endbild (19) zu erzeugen.

15. Katadioptrisches Abbildungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Fokussierlinsengruppe (11) aufweist:

- eine erste, negative Linse (21),
- eine zweite, positive, bikonvexe Linse (22), die von der ersten Linse (21) knapp beabstandet ist, um eine Korrekturgruppe mit im wesentlichen der Brechkraft Null für chromatische Änderungen von Abbildungsfehlern zu bilden,
- eine dritte, negative, meniskusförmige Linse (23), die von der zweiten Linse (22) beabstandet ist,
- eine vierte, negative, meniskusförmige Linse (24), wobei die konkaven Oberflächen der dritten und vierten Linse (23, 24) einander gegenüberliegen,
- eine fünfte, positive, bikonvexe Linse (25),
- eine sechste, positive, meniskusförmige Linse (26), und
- eine siebte, meniskusförmige Linse (27) mit näherungsweise der Brechkraft Null, wobei die konkaven Oberflächen der sechsten und siebten Linse (26, 27) einander gegenüberliegen, die dritte bis einschließlich siebte Linse (23, 24, 25, 26, 27) eng beieinander liegen, um eine Fokussierlinsengruppe (11) mit minimalen Abbildungsfehlern zu bilden.

20. Katadioptrisches Abbildungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die katadioptrische Gruppe (17) aufweist:

- eine elfte, negative, meniskusförmige Linse (39) des Abbildungssystems mit einer konvexen Oberfläche, die der Fokussierlinsengruppe (11) gegenüberliegt, mit einer Spiegelschicht (41, 41') darauf und mit einer ersten zentralen optischen Blende (37, 37') darin nahe dem Zwischenbild (13), und
- eine zwölfte, im wesentlichen flache Linse (43) mit näherungsweise der Brechkraft Null mit einer Spiegelschicht (45) auf einer zur ersten Linse (21) entgegengesetzten Oberfläche mit einer zweiten zentralen optischen Blende (47) darin, wobei die zwölfte Linse (43) von der elften Linse (39, 39') beabstandet ist, die elfte und zwölfte Linse (39, 39'; 43) mit ihren jeweiligen Spiegelschichten (41, 41'; 45) eine katadioptrische Gruppe (17) bilden, die ein lichtfokussierendes Übertragungssystem für das Zwischenbild (13) bereitstellt, um nahe der zweiten optischen Blende (47) ein Endbild (19) zu erzeugen.

25. Abbildungssystem nach einem der Ansprüche 1, 2, 4 oder 5, wobei der Wellenlängenbereich 0,20-0,29  $\mu\text{m}$  umfaßt.

30. Abbildungssystem nach einem der Ansprüche 1, 2, 4 oder 5, wobei der Wellenlängenbereich 0,193  $\mu\text{m}$  beinhaltet.

35. Abbildungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Linsen der Fokussierlinsengruppe (11) alle aus einem einzigen lichtbrechenden Material hergestellt sind.

40. Abbildungssystem nach Anspruch 8, bei dem das einzige lichtbrechende Material der Fokussierlinsengruppe (11) Quarzglas ist.

45. Abbildungssystem nach Anspruch einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem Feldlinsengruppe (15) aus Linsen (31, 33, 35; 51, 53, 55) aus Quarzglas und einem Fluoridglas bestehen.

50. Abbildungssystem nach einem der Ansprüche 3 bis 10, wobei das erste optische Element (39, 39') der katadioptrischen Gruppe (17) einen konkaven Spiegel mit einem Loch in dessen Mitte, das die zentrale optische Blende bildet (37, 37'), umfaßt.

55. Abbildungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die katadioptrische Gruppe (17) durch

# DE 197 31 291 C 2

reflektierende Oberflächen gekennzeichnet ist, die danach ausgewählt sind, mindestens eine numerische Apertur von 0,8 und ein Bildfeld von 0,5 Längeneinheiten für das Endbild (19) des Abbildungssystems bereitzustellen.

13. Abbildungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei die Fokussierlinsengruppe (11), die Feldlinsengruppe (15) und die katadioptische Gruppe (17) lichtbrechende und reflektierende Linsenflächen aufweisen, die durch die nachstehenden Abmessungen gekennzeichnet sind:

5

Oberfläche Nr.	Krümmungsradius (Längeneinheiten)	Abstand (Längeneinheiten)	Material	
1	1105,7	4,000	Quarzglas	10
2	53,051	2,500	Luft	
3	284,061	5,000	Quarzglas	
4	- 57,181	60,000	Luft	15
5	39,782	15,000	Quarzglas	
6	13,379	7,977	Luft	20
7	- 12,955	5,169	Quarzglas	
8	- 17,192	1,000	Luft	
9	42,964	8,000	Quarzglas	25
10	- 55,269	1,000	Luft	
11	18,436	8,000	Quarzglas	
12	91,574	6,253	Luft	30
13	- 20,802	4,000	Quarzglas	
14	- 21,768	17,120	Luft	
15	7,217	5,494	Quarzglas	35
16	2,259	3,000	CaF <sub>2</sub> Glas	
17	- 11,760	1,500	Quarzglas	
18	373,721	39,730	Luft	40
19	Flach	7,000	Quarzglas	
20	Flach	- 7,000	Reflektor / Quarzglas	45
21	Flach	- 36,000	Luft	
22	50,470	- 9,500	Quarzglas	50
23	64,290	9,500	Reflektor / Quarzglas	
24	50,470	36,000	Luft	55
25	Flach	7,000	Quarzglas	
26	Flach	1,500	Luft	

14. Abbildungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei die Fokussierlinsengruppe (11), die Feldlinsengruppe (13) und die katadioptische Gruppe (17) lichtbrechende und reflektierende Linsenflächen aufweisen, die durch die nachstehenden Abmessungen gekennzeichnet sind:

60

65

DE 197 31 291 C 2

Oberfläche Nr.	Krümmungsradius (Längeneinheiten)	Abstand (Längeneinheiten)	Material
1	- 67,007	4,000	Quarzglas
2	50,308	2,000	Luft
3	120,297	6,000	Quarzglas
4	- 37,494	30,636	Luft
5	24,138	10,000	Quarzglas
6	13,441	9,532	Luft
7	- 13,518	7,546	Quarzglas
8	- 17,997	1,000	Luft
9	34,465	6,000	Quarzglas
10	- 517,022	1,000	Luft
11	18,268	10,000	Quarzglas
12	965,352	4,181	Luft
13	- 30,177	9,746	Quarzglas
14	- 28,138	7,892	Luft
15	- 19,346	2,500	Quarzglas
16	- 36,530	1,000	Luft
17	6,687	5,026	Quarzglas
18	2,044	0,017	Luft
19	2,044	2,000	CaF <sub>2</sub> Glas
20	- 90,635	36,108	Luft
21	- 908,968	7,000	Quarzglas
22	- 1000,0	- 7,000	Reflektor / Quarzglas
23	- 908,968	- 36,000	Luft
24	48,244	- 9,500	Quarzglas
25	63,204	9,500	Reflektor / Quarzglas
26	48,244	36,000	Luft
27	-908,968	7,000	Quarzglas
28	-1000,0	1,500	Luft

15. Abbildungssystem nach einem der Ansprüche 12, 13 oder 14, wobei eine Längeneinheit ein Millimeter ist.

16. Verwendung eines Abbildungssystems nach einem der vorhergehenden Ansprüche zur Untersuchung von Eigenschaften eines Objektes, wobei die Verwendung umfaßt:

Beleuchten des Objektes mit fluoreszenzanregender Strahlung, wobei die durch eine solche Strahlung angeregte Fluoreszenz dadurch charakterisiert ist, daß sie eine Vielzahl von UV-Wellenlängen einschließt;

Bilden mehrerer Fluoreszenzbilder des Objektes und Erfassen der so erhaltenen Bilder, wobei die Bilder bei verschiedenen Wellenlängenbereichen liegen, die über einen Wellenlängenbereich verteilt sind, einschließlich mehrerer UV-Wellenlängenbereiche; und

Beobachten von Eigenschaften des Objektes mittels der erfaßten Bilder.

17. Verwendung eines Abbildungssystems nach einem der Ansprüche 1 bis 15 zur Untersuchung von Eigenschaften eines Objekts, wobei die Verwendung umfaßt:

Beleuchten des Objektes mit ultravioletter Strahlung bei mehreren Wellenlängen,

# DE 197 31 291 C 2

Entwerfen eines Ultraviolettbildes des beleuchteten Objekts aus vielen Wellenlängen mittels des Abbildungssystems, und 5  
Erfassen des Ultraviolettbildes aus vielen Wellenlängen und Beobachten von Eigenschaften des Objekts durch Verwenden des Ultraviolettbildes.

18. Verwendung eines Abbildungssystems nach Anspruch 17, wobei das untersuchte Objekt eine Waferoberfläche, einschließlich eines Photoresistlacks, umfaßt. 10

19. Verwendung eines Abbildungssystems nach Anspruch 17, wobei das untersuchte Objekt eine Phasenverschiebungs-Photomaske umfaßt.

20. Verwendung eines Abbildungssystems nach Anspruch 17, das außerdem das Analysieren des Ultraviolettbildes aus vielen Wellenlängen umfaßt, um Fehler auf dem Objekt zu identifizieren und zu klassifizieren. 15

21. Verwendung eines Abbildungssystems nach einem der Ansprüche 1 bis 15 zur Untersuchung von Eigenschaften eines Objekts, wobei die Verwendung umfaßt:

Beleuchten des Objektes mit ultravioletter Strahlung bei mehreren Wellenlängen, die durch mindestens 10 nm von einander getrennt sind; 20

Verwenden des Abbildungssystems zum Ausbilden mehrerer UV-Bildschnitte des Objektes, wobei für jede der mehreren UV-Beleuchtungswellenlängen oder nur einen Teil der UV-Beleuchtungswellenlängen ein UV-Bildschnitt jeweils bei einer anderen Fokalebene aufgenommen wird; und

Bilden eines zusammengesetzten Bildes aus den UV-Bildschnitten, wobei das zusammengesetzte Bild gegenüber den jeweils das zusammengesetzte Bild ergebenden, einzelnen Bildschnitten durch eine größere Schärfentiefe gekennzeichnet ist. 25

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

25

30

35

40

45

50

55

60

65

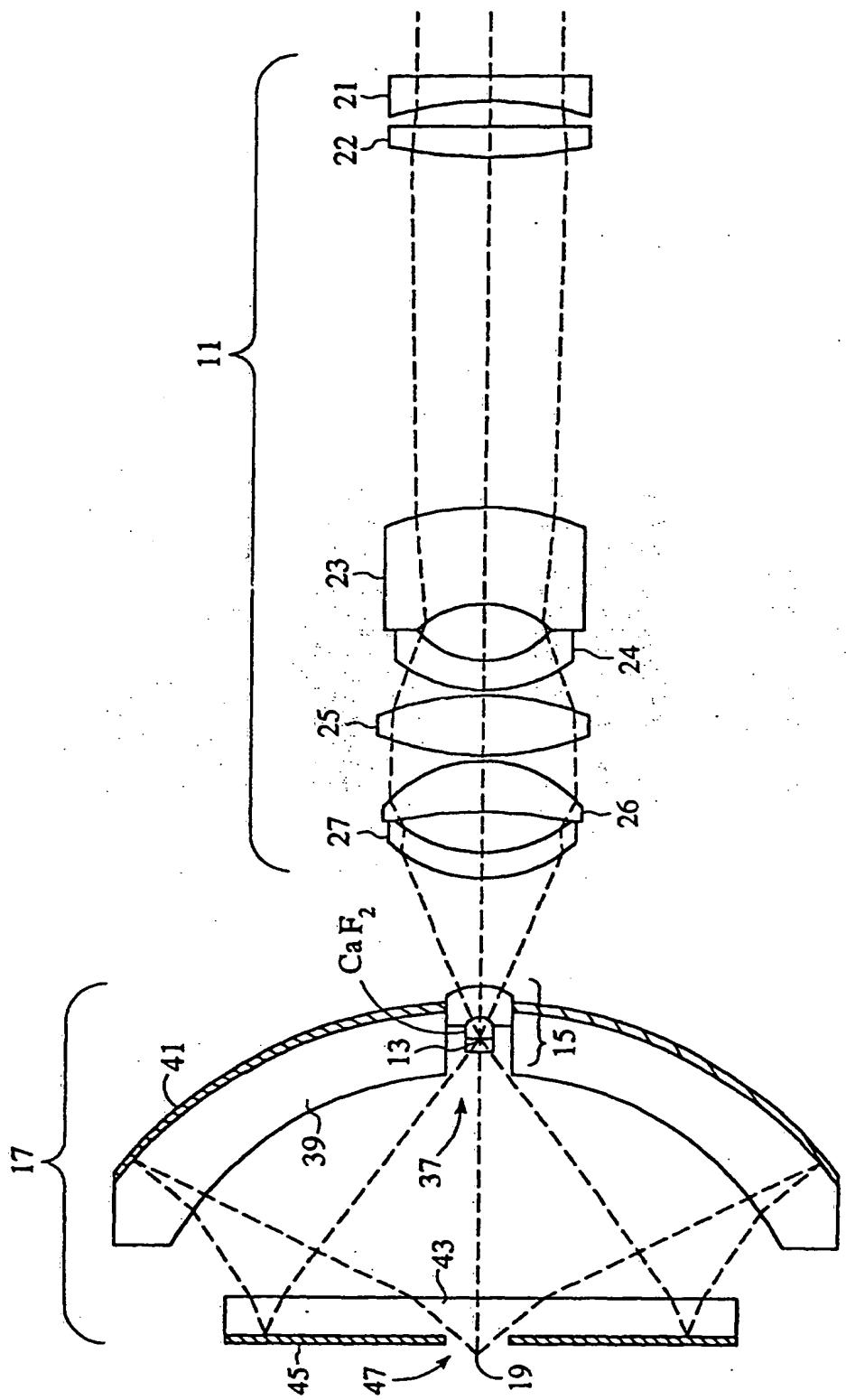


FIG. 1

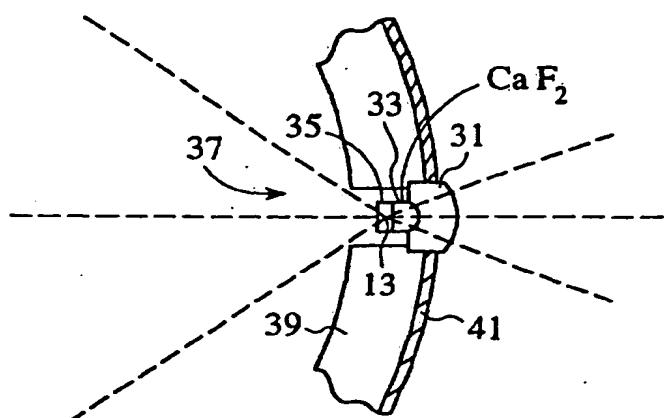


FIG. 2

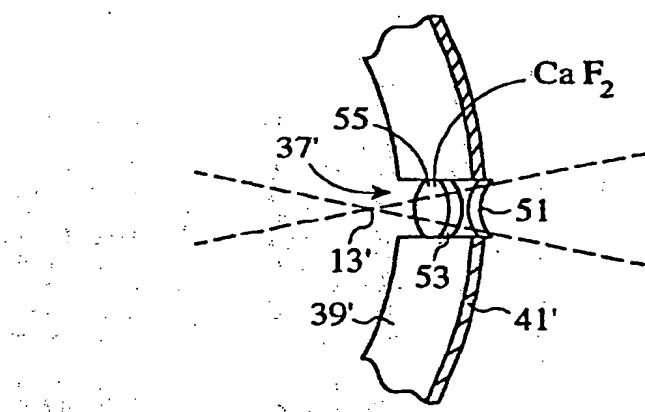


FIG. 3

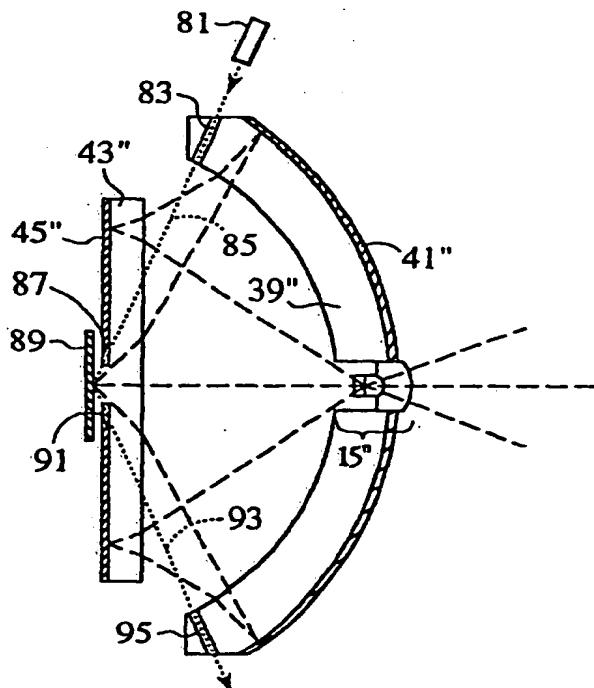


FIG. 5

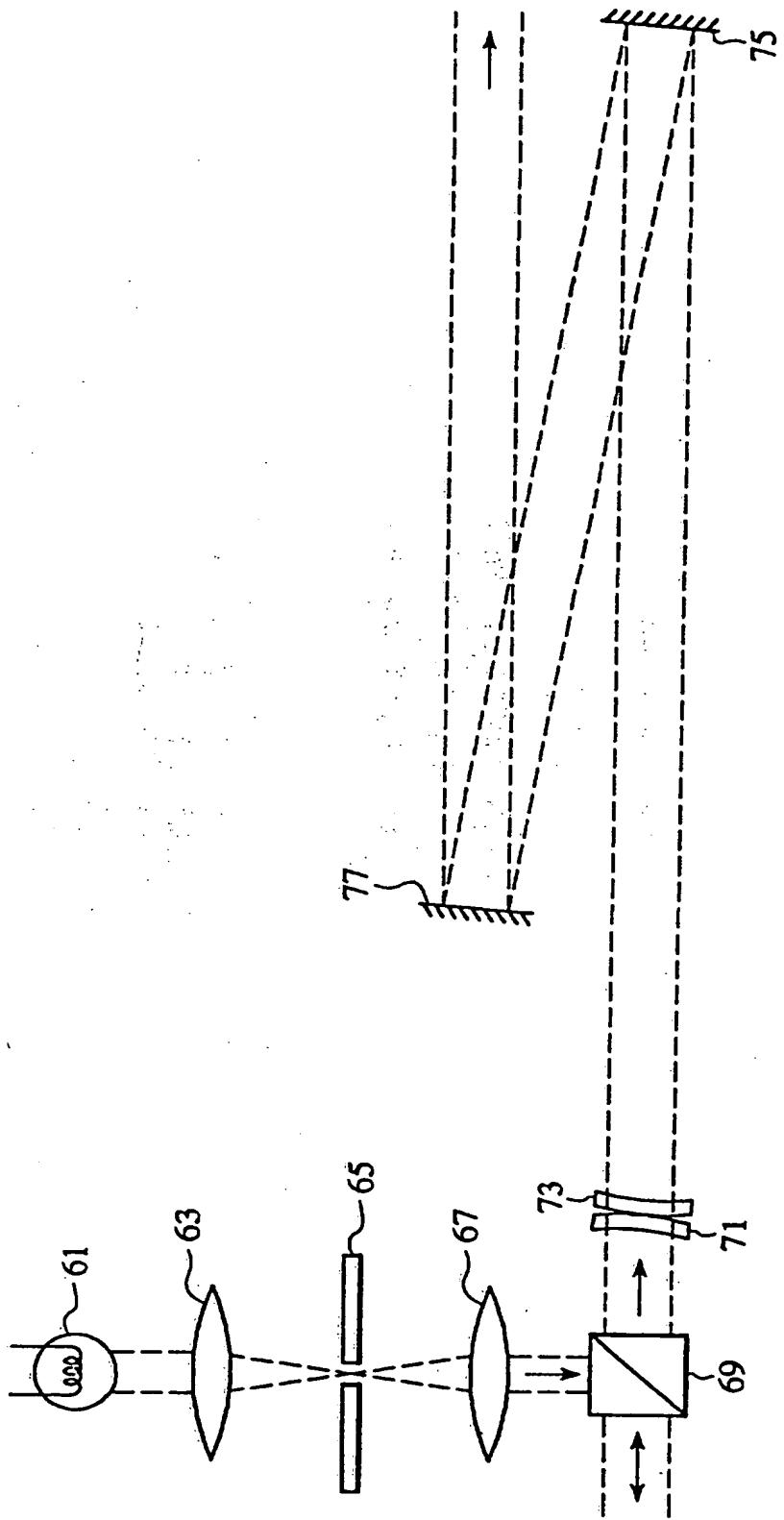


FIG. 4

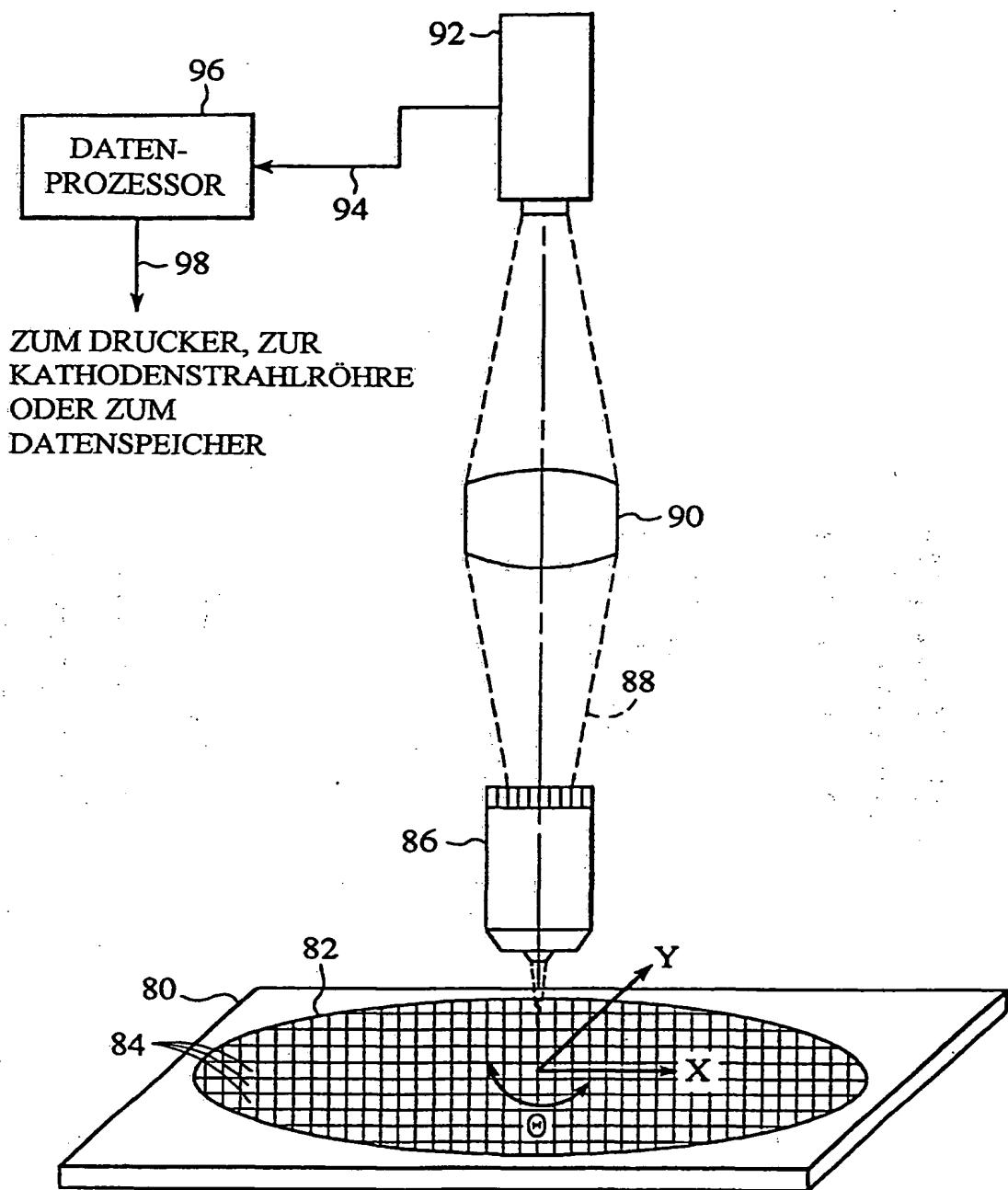


FIG. 6

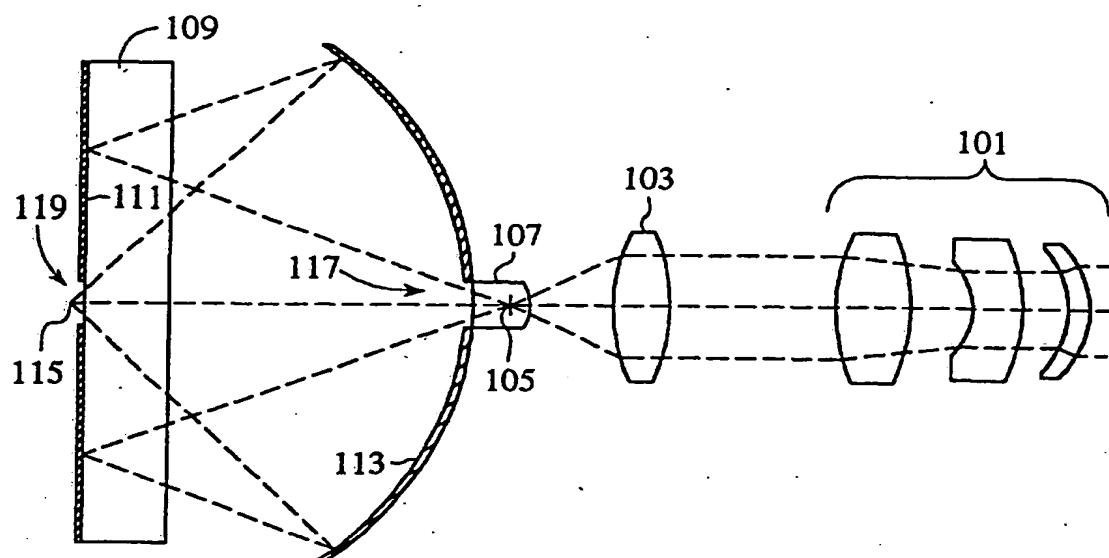


FIG. 7  
(STAND DER TECHNIK)

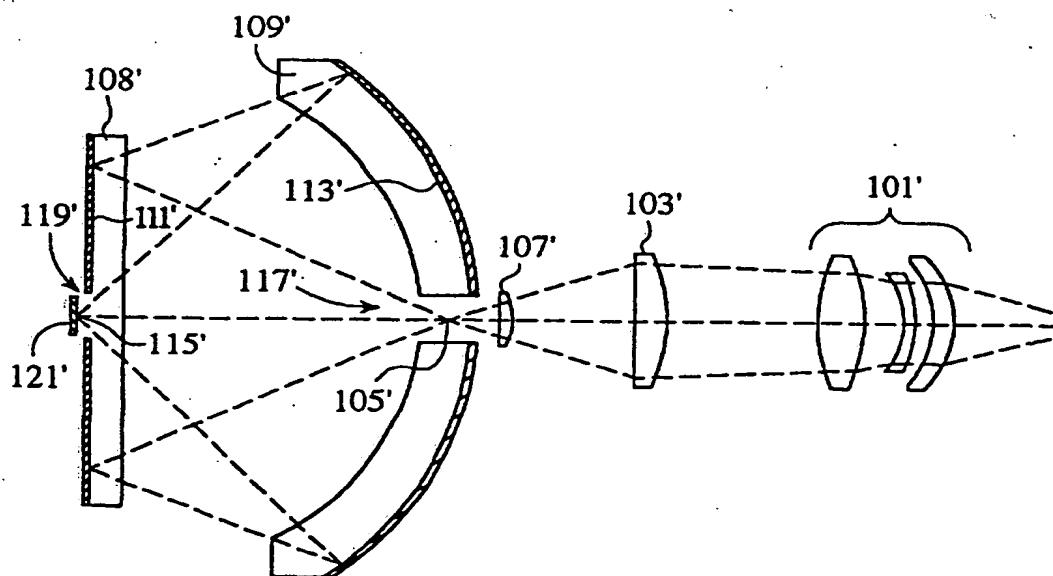


FIG. 8  
(STAND DER TECHNIK)